



Recherche du boson de Higgs dans la topologie à jets et énergie transverse manquante avec le détecteur D0 au TeVatron

N. Makovec

► To cite this version:

N. Makovec. Recherche du boson de Higgs dans la topologie à jets et énergie transverse manquante avec le détecteur D0 au TeVatron. Journées Jeunes Chercheurs 2004, Nov 2004, Ile de Berder, France. pp.1-33. in2p3-00024468

HAL Id: in2p3-00024468

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00024468>

Submitted on 9 Aug 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Recherche du
boson de Higgs
dans la topologie à
jets et énergie transverse manquante
avec le détecteur **DØ** au TeVatron.

Makovec Nikola
LAL - Orsay



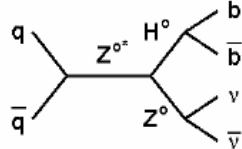
Journée Jeune Chercheur 2004

Plan de l'exposé

✓ Le TeVatron : collisionneur proton-antiproton

✓ Recherche du boson de Higgs au TeVatron

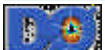
- le boson de Higgs
- production du boson de Higgs au TeVatron
- rapports d'embranchement du boson de Higgs
- le canal $HZ \rightarrow H(\rightarrow bb)Z (\rightarrow \nu\nu)$ (topologie avec jets et MET)



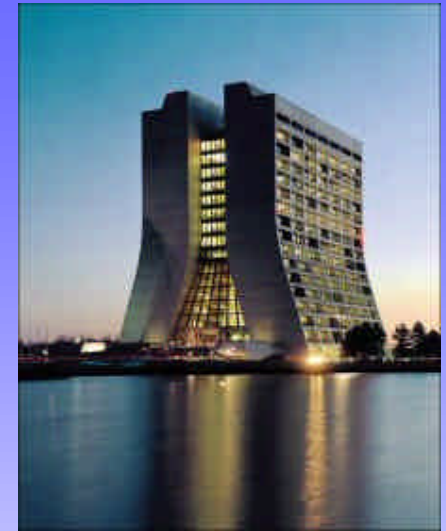
✓ Le détecteur DØ et le calorimètre

✓ L'échelle d'énergie des jets

✓ La reconstruction de l'énergie transverse manquante (MET)



Aperçu de Fermilab



Le collisionneur TeVatron : présentation



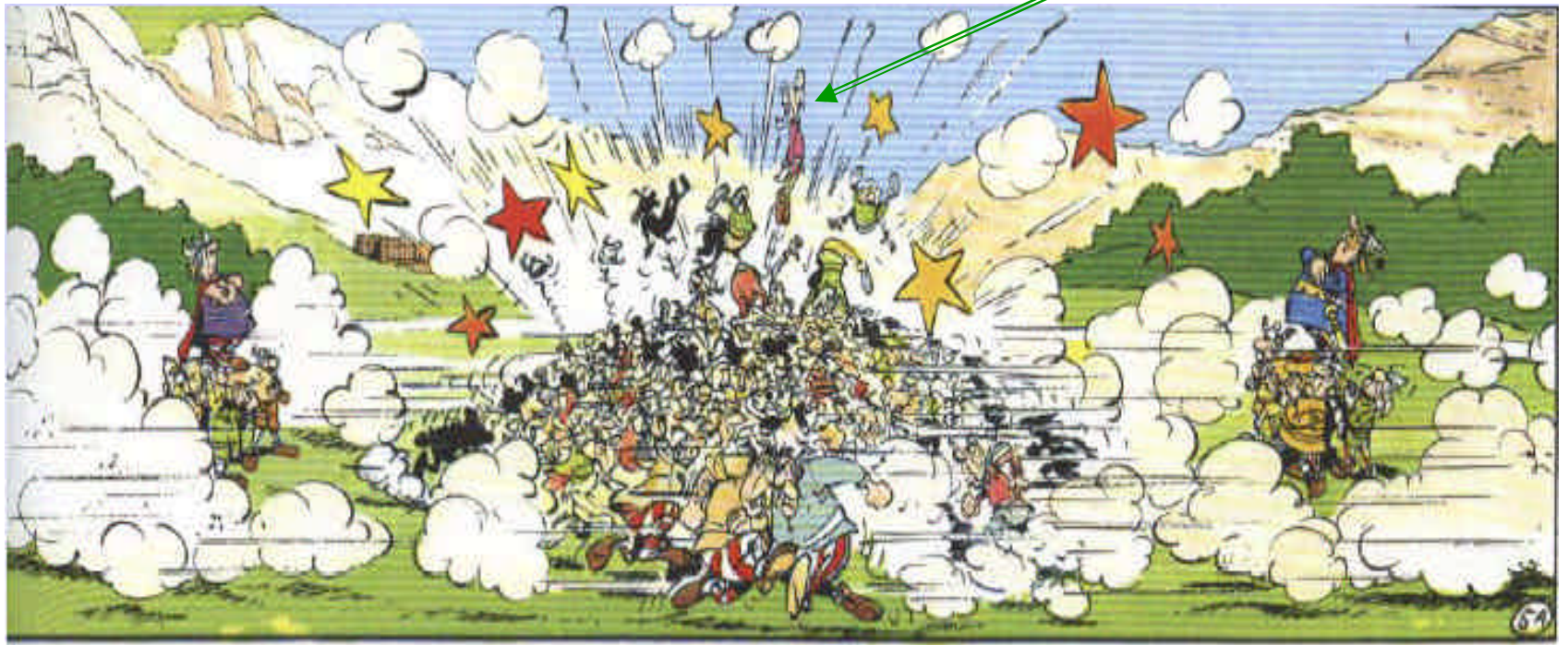
RunI : période de prise de données entre 1992 et 1996.

RunI I : période de prise de données qui a débuté en Mars 2001.

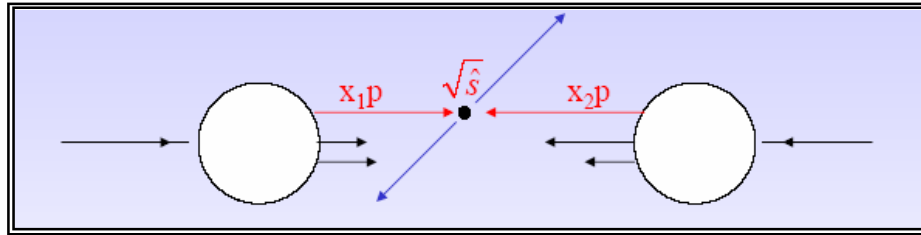
Caractéristiques du TeVatron pour le RunI I :

- ⇒ Collisionneur proton-antiproton.
- ⇒ Énergie dans le centre de masse:
 $\sqrt{s} = 1,96 \text{ TeV}$ (1,8 TeV au RunI).
(+40% pour la section efficace du quark top et 20% pour le Higgs).
- ⇒ Nombre de paquets:
36x36 paquets (6x6 au RunI).
- ⇒ Période de collision:
396 ns (3,5 μs au RunI).
- ⇒ Luminosité:
record = $102,4 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
en Juin 2004.

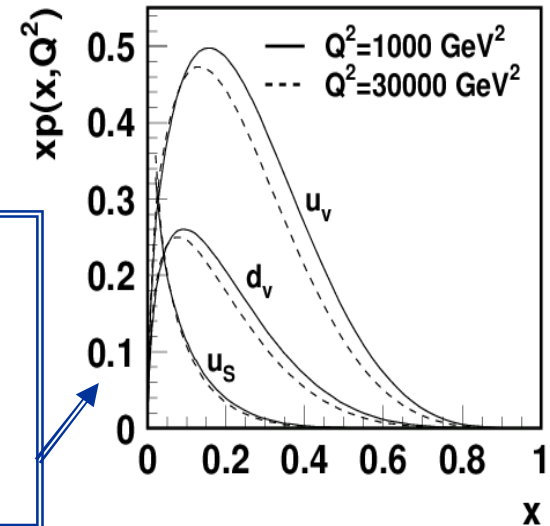
Collision proton-antiproton



Collision proton-antiproton



- Pour chaque collision, cette fraction d'impulsion est inconnue ainsi il est impossible de connaître l'impulsion des partons mis en jeu.
- Seules sont connues, les fonctions de densités de partons (diffusion profondément inélastique sur proton)



En revanche, on peut approximer que l'impulsion des partons ne possède pas de composante transverse. Ainsi, la somme des impulsions transverses est conservée.

$$\sum_{particules} \vec{p}_T = 0$$

Le boson de Higgs

masse nulle

massifs

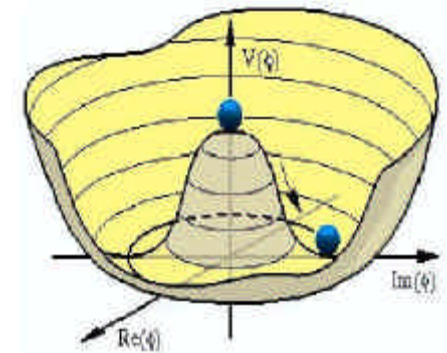
contradiction

Une solution est le mécanisme de Higgs

Brisure spontanée de la symétrie électrofaible:

→ Nouvelle particule: **le Boson de Higgs**

- La masse de cette particule est l'un des paramètres libres de la théorie.
- Existence des masses des fermions à travers leurs couplages de Yukawa avec le champ de Higgs.

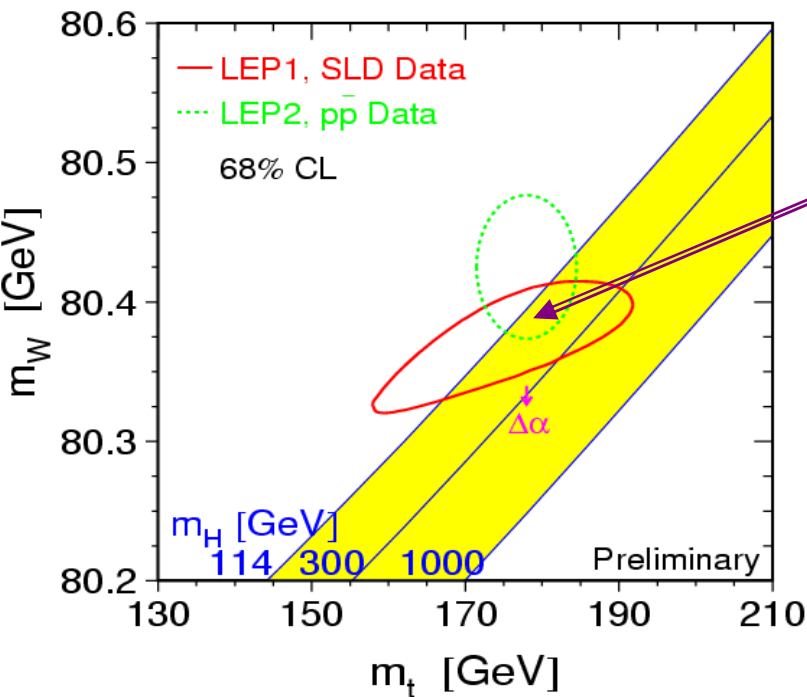


Potentiel scalaire pour $\mu^2 < 0$.

Le boson de Higgs : contraintes

La mesure précise des paramètres du Modèle Standard permet de contraindre la région des masses possible pour le boson de Higgs.

Par exemple: La masse du Higgs et du quark top interviennent dans les corrections radiatives à la masse du boson W



Les mesures de m_t et m_W favorisent de faibles valeurs de m_H

Un ajustement de toutes les observables du modèle standard donne : $M_H \leq 260 \text{ GeV}/c^2$ à 95% de niveau de confiance.

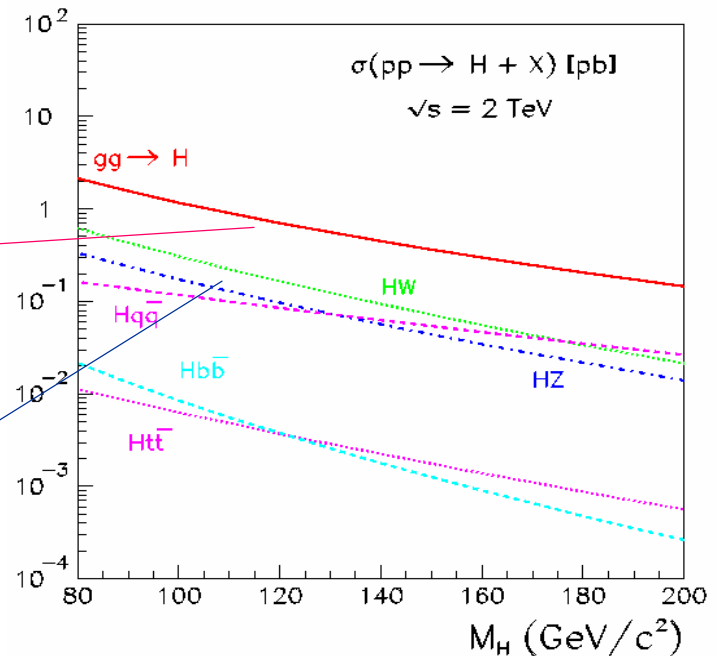
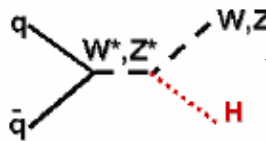
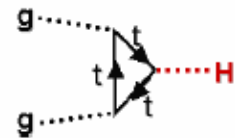
Le Boson de Higgs: recherche directe

$$M_H > 114,4 \text{ GeV}/c^2 @ 95\%CL$$

Production du Higgs au Tevatron

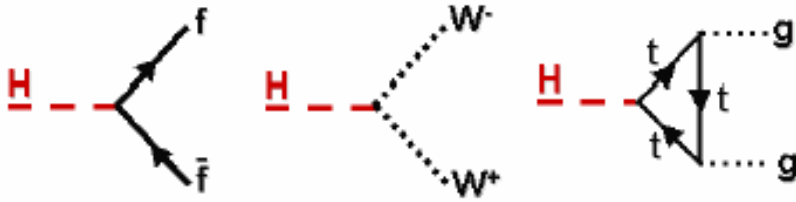
Fusion de gluons:

Higgsstrahlung:

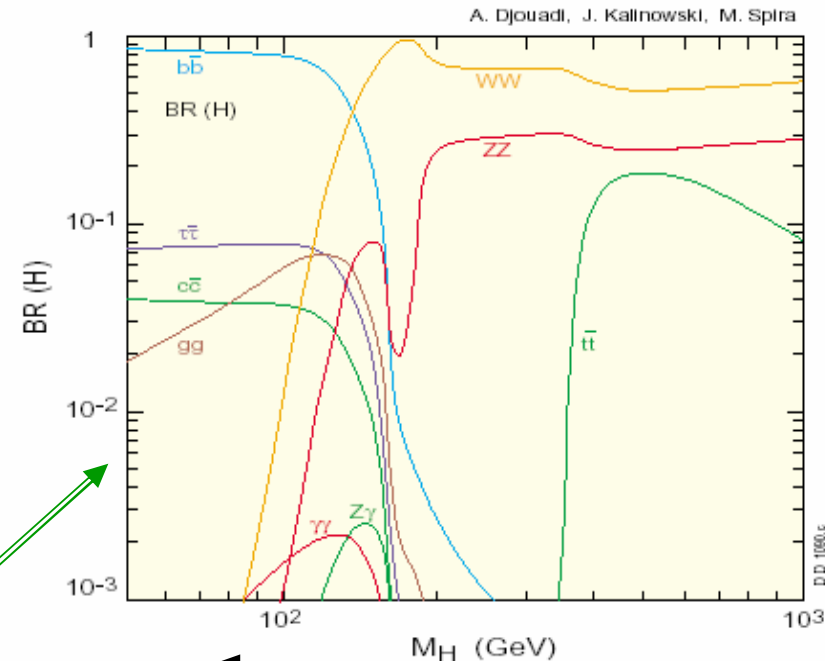


Désintégration du boson de Higgs

Exemple :



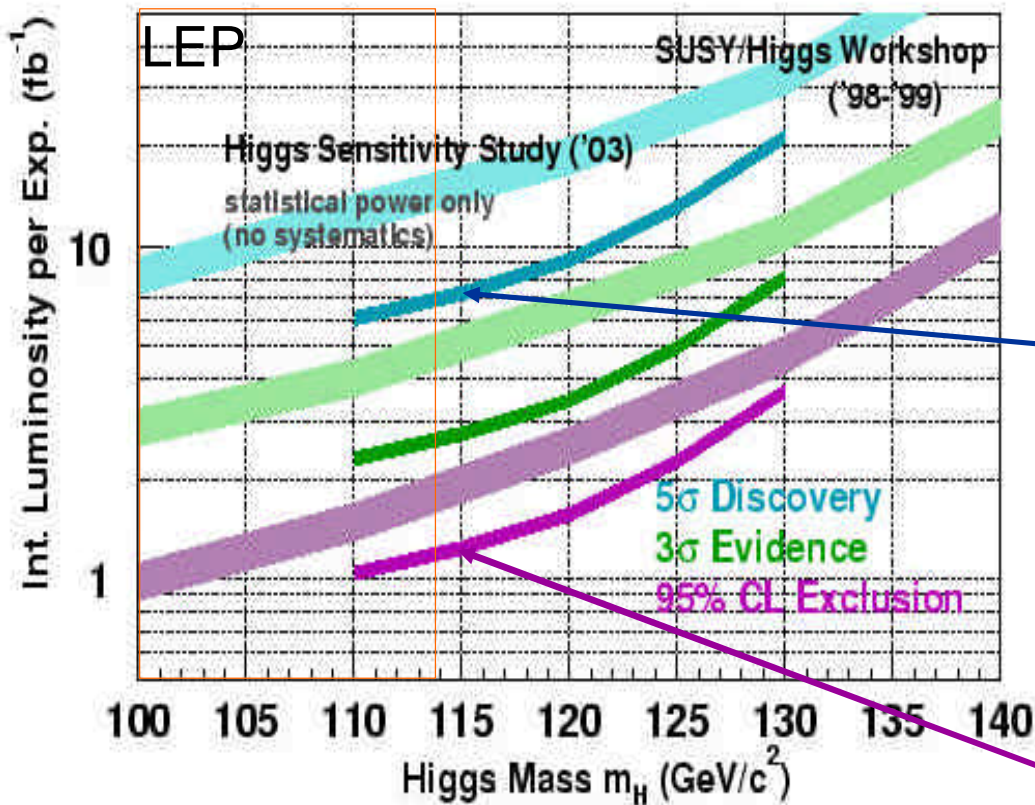
Le boson de Higgs se désintègre préférentiellement en particules les plus lourdes autorisées cinématiquement.



États finals ($M_{\text{higgs}} < 140 \text{ GeV}$) :

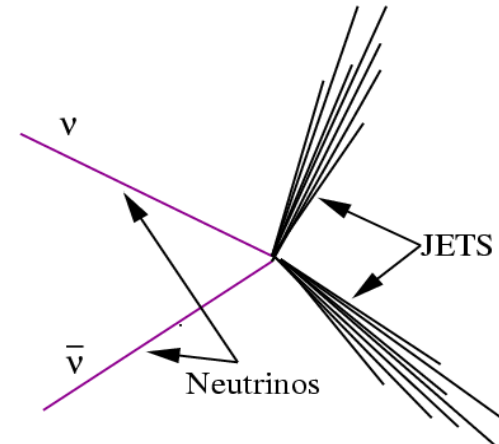
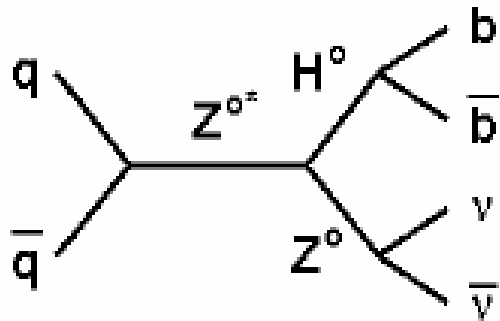
- $q\bar{q} \rightarrow H(\rightarrow b\bar{b})Z$ et $q\bar{q} \rightarrow H(\rightarrow b\bar{b})W$ plus facilement identifiables que
- $g\bar{g} \rightarrow H(\rightarrow b\bar{b})$ noyé dans bruit de fond $q\bar{q} \rightarrow b\bar{b}$

Le Boson de Higgs : perspectives



Si Higgs $\sim 115 \text{ GeV}/c^2$:
Découverte @ 5σ avec
7 à 8 fb^{-1} (2009)

Exclusion de $115 \text{ GeV}/c^2$
@ 95% CL nécessiterait
 1.5 fb^{-1} (2006)

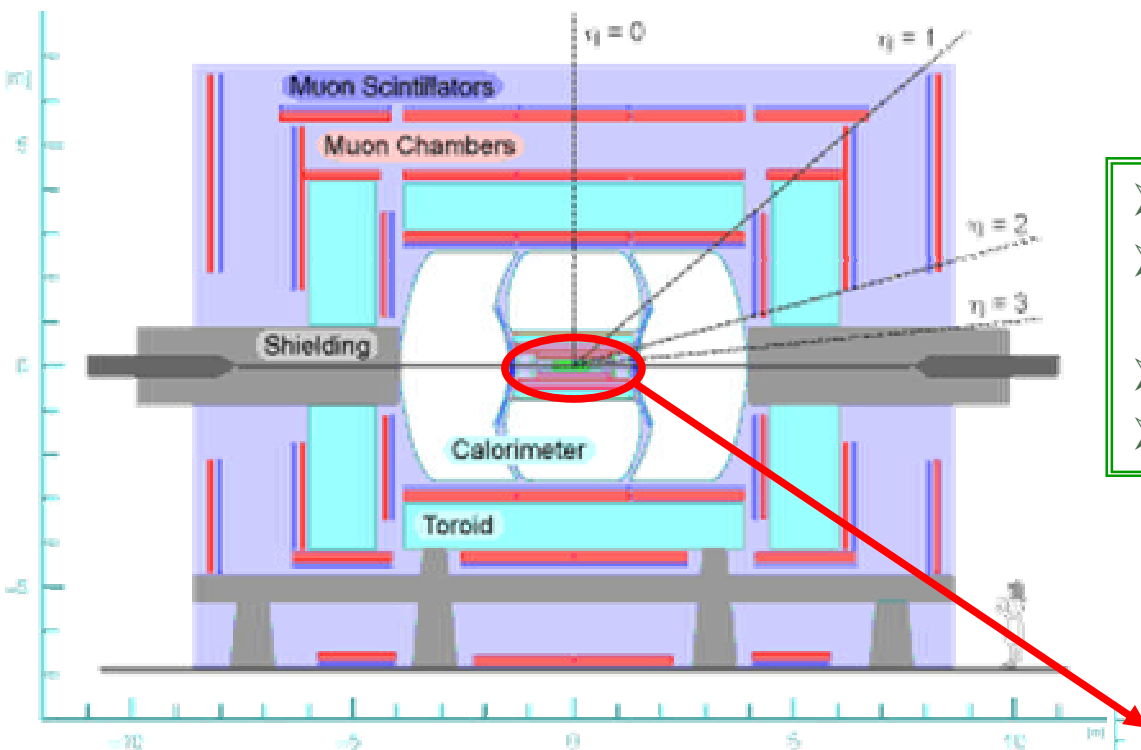


Description de l'état final:

- Les **2 Neutrinos** venant du boson Z ne sont pas détectés et produisent alors de l'énergie manquante.

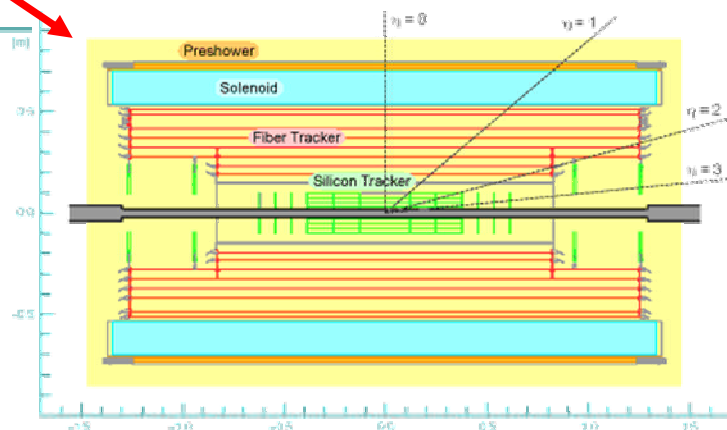
- Production de **2 Jets** venant de l'hadronisation des quarks b (des jets supplémentaires peuvent être produits si les quarks rayonnent des gluons).

Le détecteur $DØ$: présentation



- Calorimètre
- Détecteurs à Muons
→ chambres à dérive
→ scintillateurs.

- Détecteur de vertex.
- Détecteur de traces à fibres scintillantes.
- Aimant supraconducteur (2T)
- Détecteur de pied de gerbe

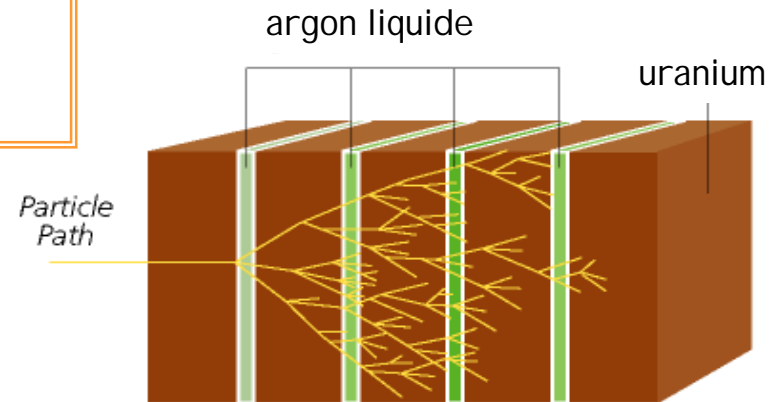


Le calorimètre (I)

Le calorimètre permet de mesurer l'énergie des particules

Calorimètre à échantillonnage:

⇒ Succession de plaques d'absorbeurs
(**uranium appauvri**) et de milieux
actifs de détection (**Argon Liquide**).

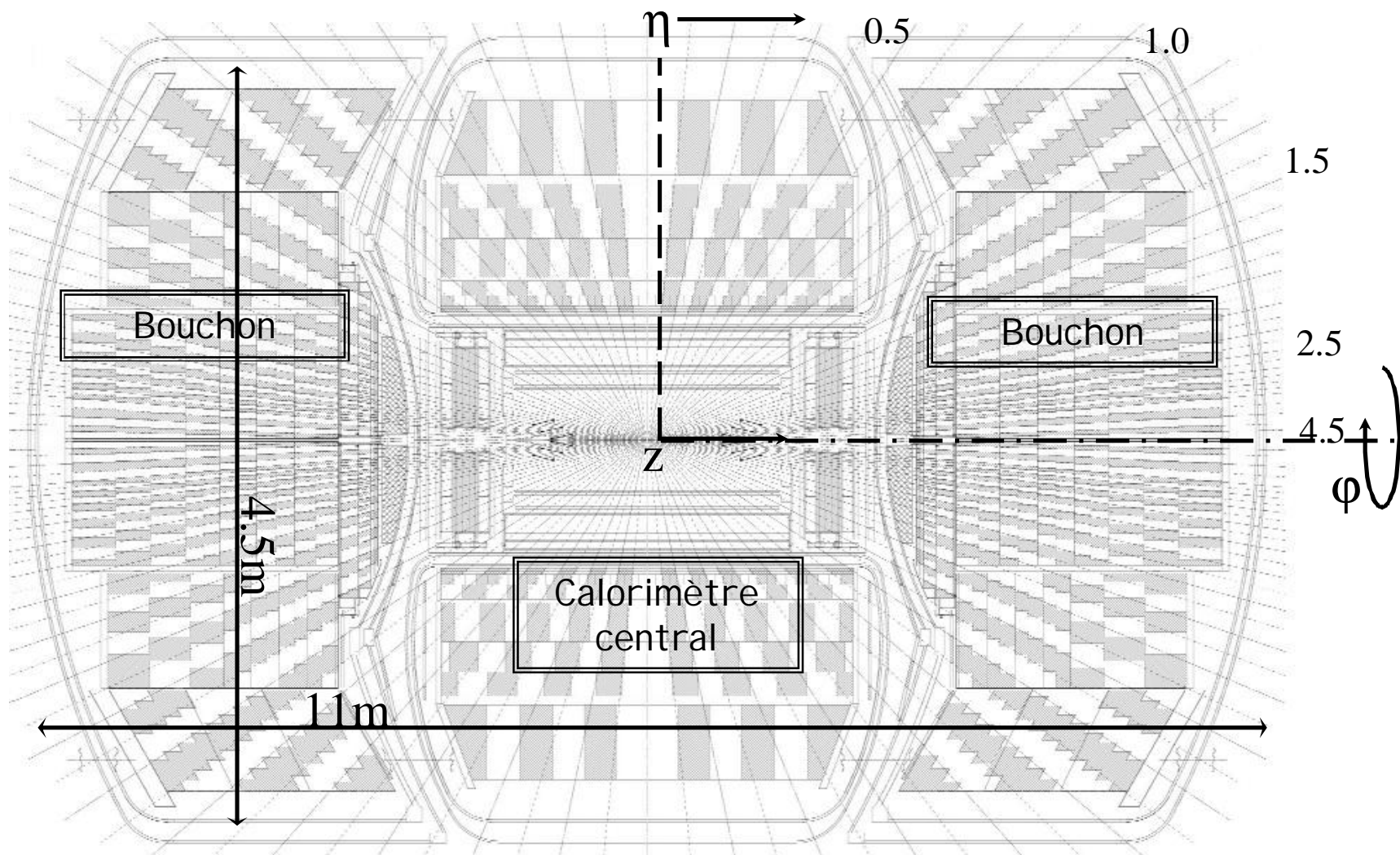


Résolution:

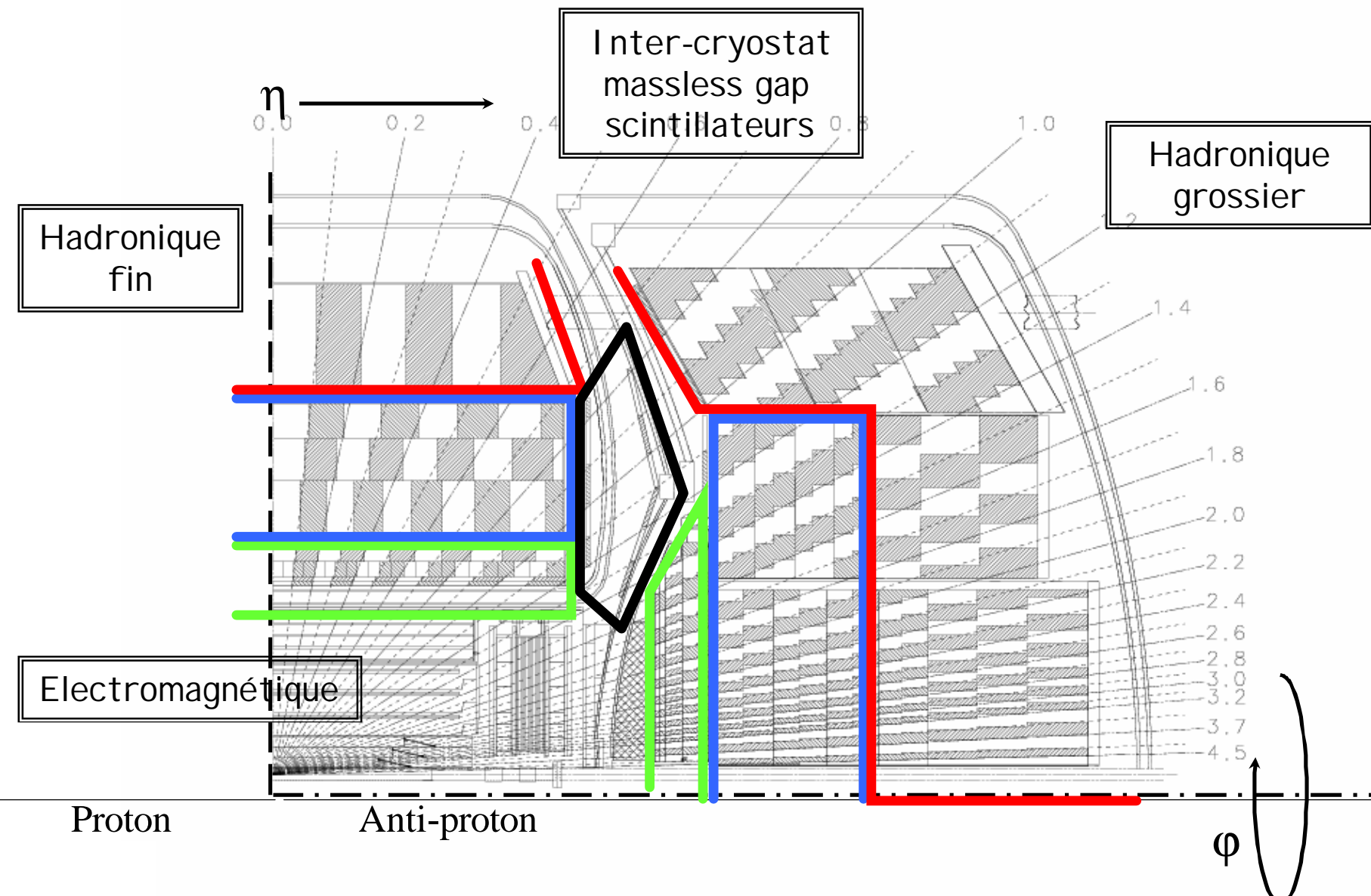
$$\left(\frac{s_E}{E}\right)^2 = C^2 + \frac{S^2}{E} + \frac{N^2}{E^2}$$

C: biais de calibration
S: fluctuations stat
dans l'échantillonnage.
N: bruit, empilement..

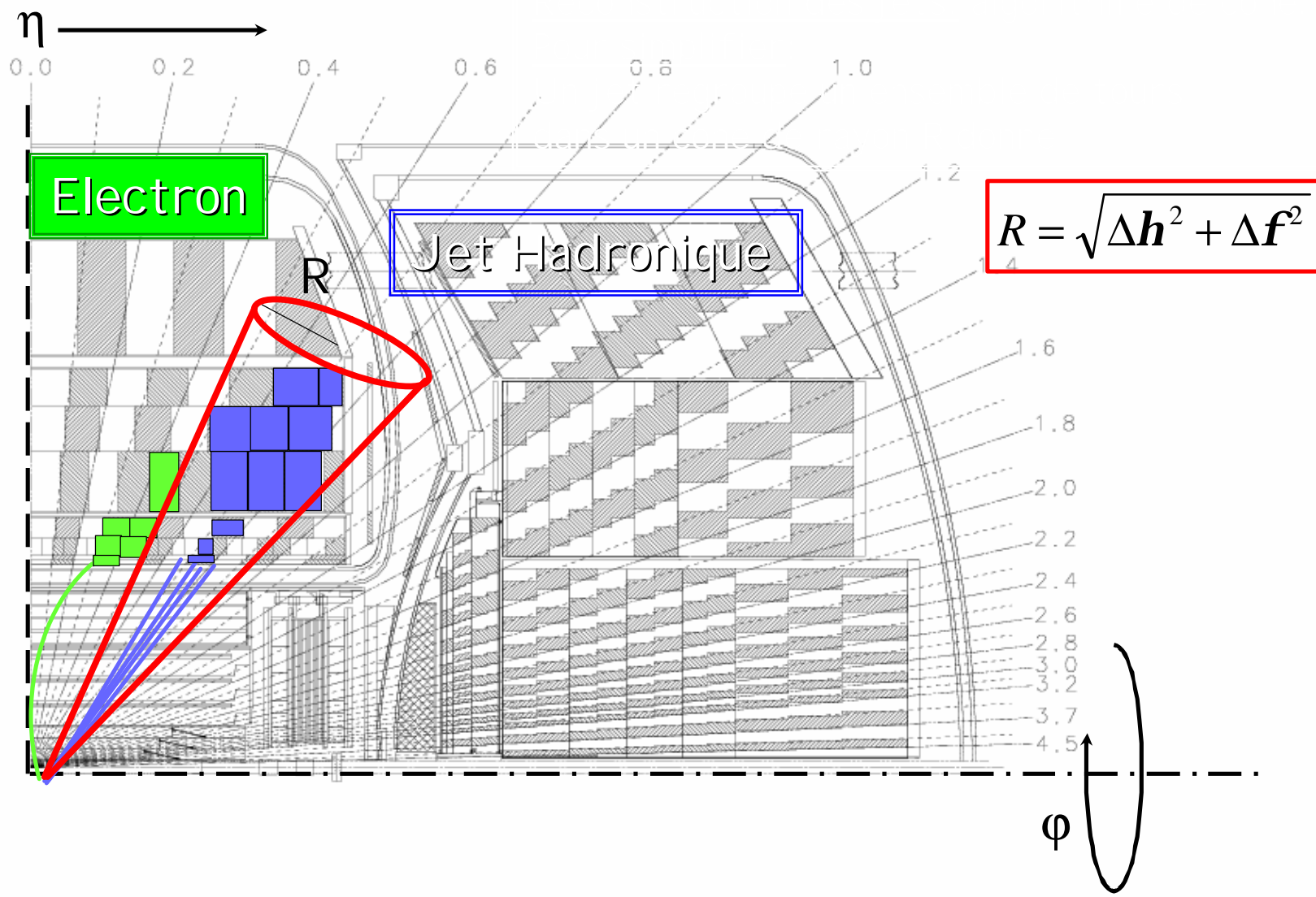
Le calorimètre (II)



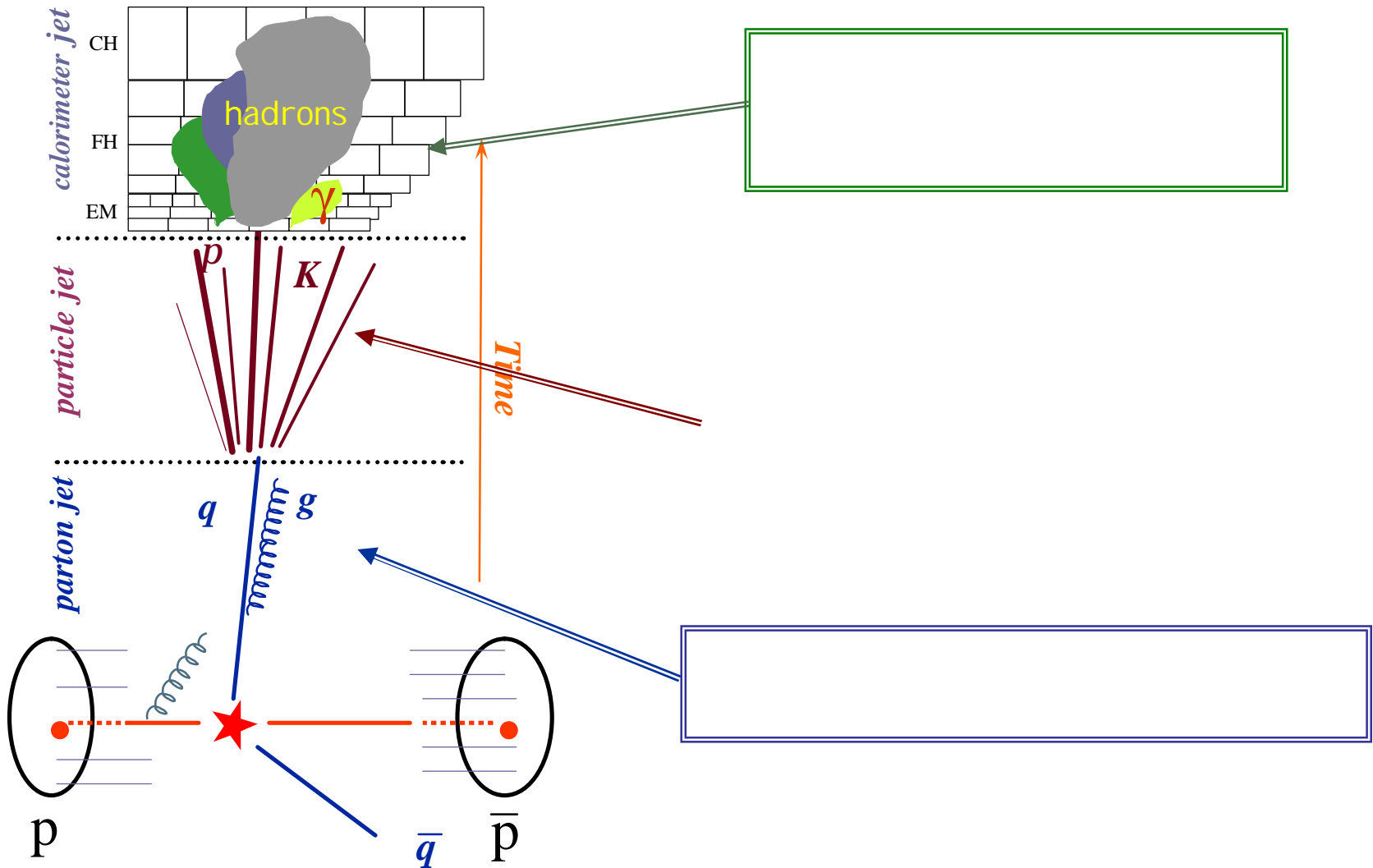
Le calorimètre (III)



Le calorimetre (I V)



Jets



Reconstruction de l'Énergie Transverse Manquante (MET)

But : identifier une particule qui n'a pas interagi avec le detecteur

Conservation de l'énergie dans le plan transverse :

⇒ $MET = -$ somme vectorielle de l'énergie transverse des cellules.

Pour simplifier :

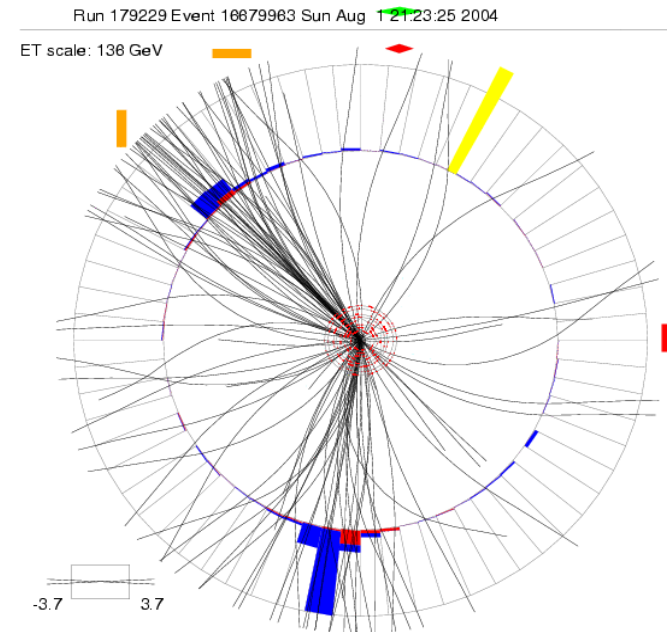
MET est calculée a partir de toutes les cellules.

Ensuite :

- la MET est corrigée de l'échelle d'énergie des particules électromagnétiques et de l'échelle d'énergie des jets.

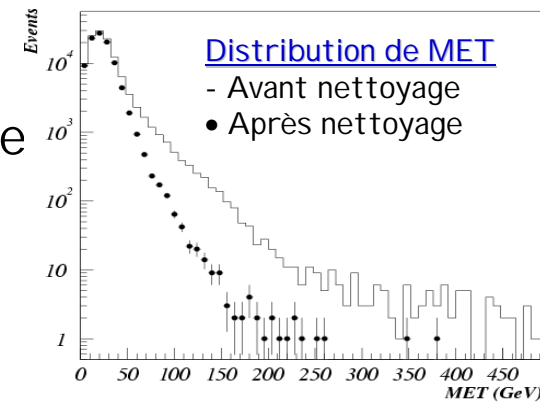
- La MET est aussi corrigée pour la présence de muons dans l'état final.

Exemple d'événement avec une grande énergie transverse manquante



Ce canal présente de nombreuses difficultés:

- Pas de signature très distincte dans un environnement hadronique comme celui du TeVatron.
- Problèmes techniques et bruit dans le calorimètre
⇒ dégradation de la mesure de l'énergie transverse manquante.
- Fausse sources de MET: gerbes initiées par un rayon cosmique dans le calorimètre, mauvais choix de vertex de l'événement, etc....
- Nombreux bruits de fond: productions $W(Z)$ + jets, événements QCD multijets dont la MET provient de la mauvaise mesure de l'énergie des jets



Les bruits de fonds

Bruits de fond physiques:

production de W (ou Z) avec jets de rayonnement dans l'état initial (ISR)

⇒ *Topologie identique*

- $Z + 2 \text{ jets} \rightarrow \nu\nu + 2 \text{ jets}$
(fond irréductible)



- $W + \text{jet} \rightarrow \nu\tau + \text{jet}$
(avec $\tau \rightarrow \nu + \text{hadrons}$).

⇒ *Processus avec leptons chargés non détectés:*

$Z + 2 \text{ jets} \rightarrow \mu\mu + 2 \text{ jets},$
 $Z + 2 \text{ jets} \rightarrow \tau\tau + \text{jets}$
 $W + 2 \text{ jets} \rightarrow l\nu + 2 \text{ jets}$

⇒ *Processus avec électrons faussement identifiés comme jet:*

$W + \text{jet} \rightarrow e\nu + \text{jet}$

Bruit de fond QCD:

processus produisant uniquement des jets dans l'état final par interaction forte.

Bien que la topologie ¹ signal, leur contribution vient d'une mauvaise mesure de l'énergie des jets \vec{P} crée de la MET.

Comment s'affranchir du bruit de fond?

- *Coupures Cinématiques sur l'impulsion transverse des Jets et sur la MET:*

\vec{P} Réduction du bruit de fond QCD.

- *Identification des Jets provenant de b:*

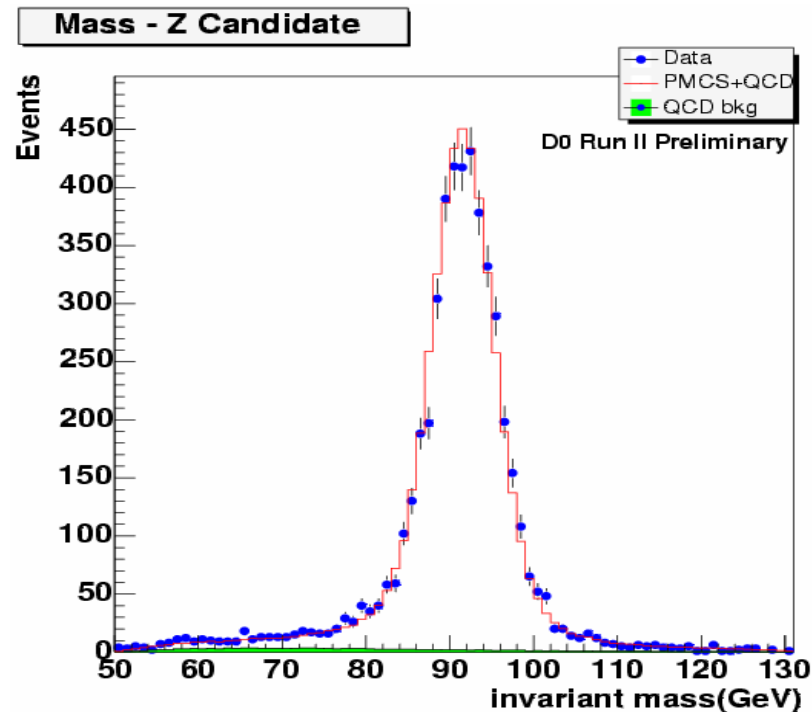
\vec{P} Réduction de Multi-Jet QCD et $Z(W)+\text{jets}$

- *Mesure de la masse invariante M_{bb}*

\vec{P} Nécessité de mesurer précisément l'énergie des jets

Échelle d'énergie des particules électromagnétiques

Déterminée à partir du pic de masse du $Z \rightarrow e^+e^-$



Échelle d'énergie des jets

But : ramener l'énergie d'un jet au niveau du détecteur à l'énergie du jet au niveau des particules

$$E_{ptcl}^{jet} = \frac{E_{det}^{jet} - \mathcal{O}}{R_{jet} S}$$

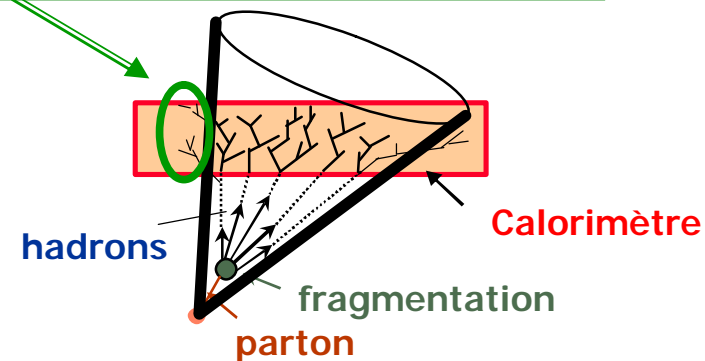
Offset : énergie non associée à l'interaction dure

- bruit de l'uranium
- empilement du au croisement précédent
- interactions pp additionnelles

Showering : prend en compte le fait qu'une particule à l'intérieur du cone de reconstruction du jet peut déposer de l'énergie en dehors du cone lors du développement de la gerbe.

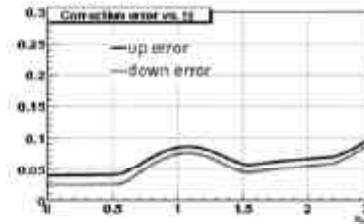
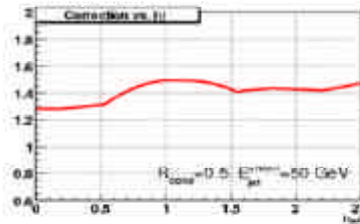
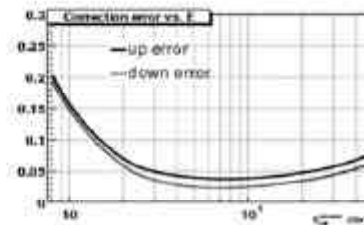
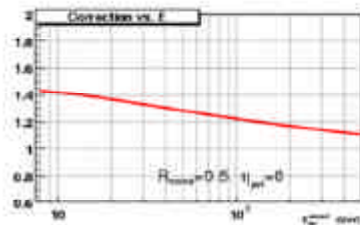
Réponse :

- réponse du calorimètre au jet
- mesurée à partir d'événements photon + jet
- le photon est supposé être bien calibré

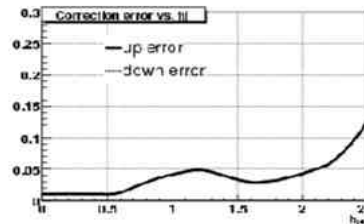
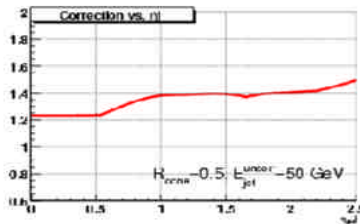
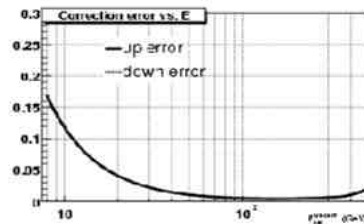
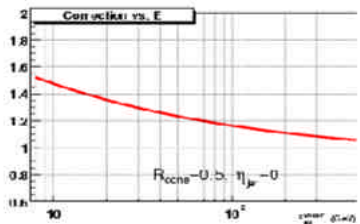


Échelle d'énergie des jets (II)

Data :



MC :



Conclusion

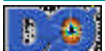
Mon sujet de thèse est la recherche du boson de Higgs dans la canal à **jets et énergie transverse manquante**.

Cette recherche nécessite entre autres choses, une bonne compréhension du calorimètre de DØ qui permet :

- la reconstruction et la mesure de l'énergie des jets,
- la reconstruction de l'énergie transverse manquante.

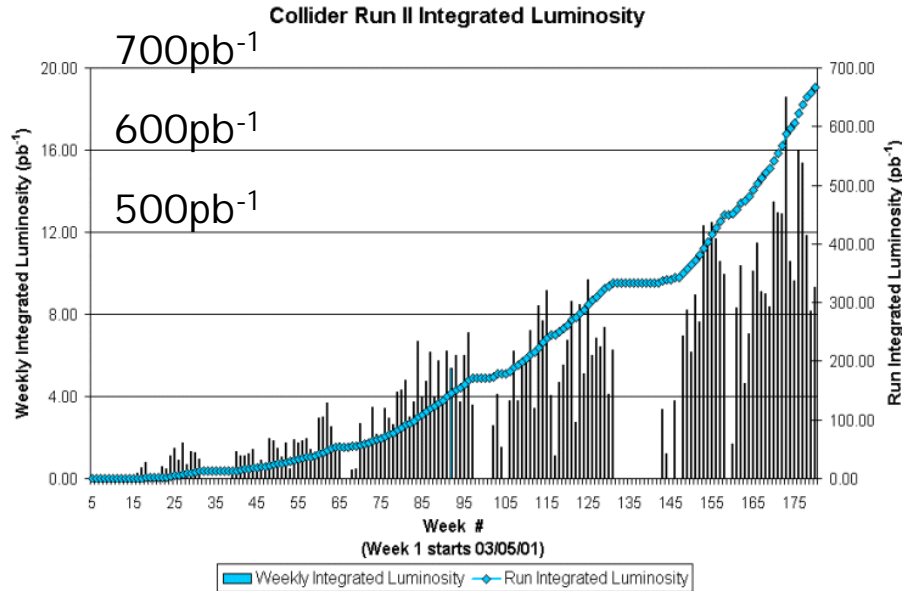
Les processus impliquant dans l'état final la présence de jet(s) et d'énergie transverse manquante sont nombreux et leurs études couvrent un domaine de recherche très important :

- recherche de particules supersymétriques
 - stop ou sbottom
 - squark et gluino
- recherche de leptoquarks
- recherche de graviton
- ...



BACK UP SLIDES

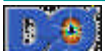
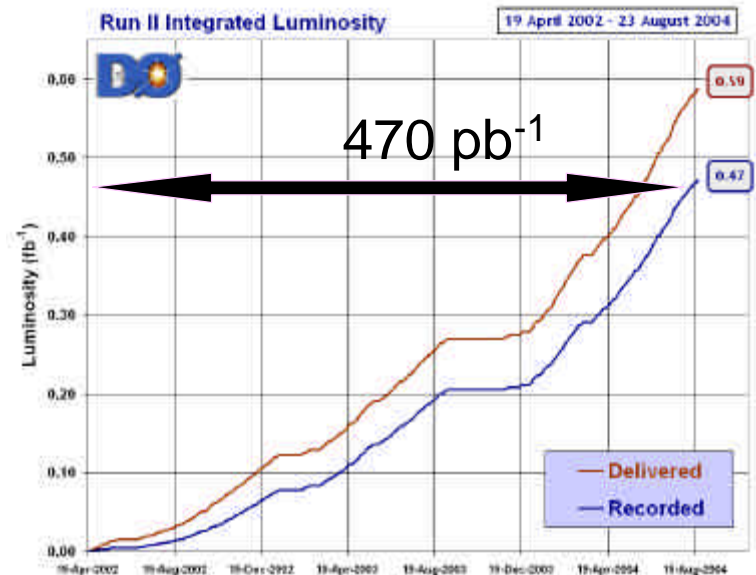
Le collisionneur TeVatron : performance



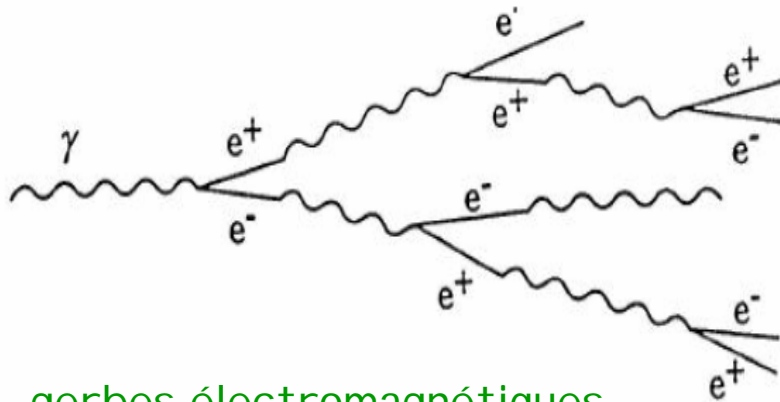
Le TeVatron atteint progressivement les caractéristiques fixées pour le Run I I.

- ⇒ Le Recycler est installé depuis début 2004 → permet de stocker plus d'antiprotons.
- ⇒ Meilleure focalisation des faisceaux.
- ⇒ Moins de perte dans les transferts

Luminosité délivrée par semaine:
dépasse les 12 pb^{-1} .
L'expérience DØ:
⇒ 90% d'efficacité de prise de données.
⇒ $0,47 \text{ fb}^{-1}$ de données disponibles.



Gerbes électromagnétiques et hadroniques



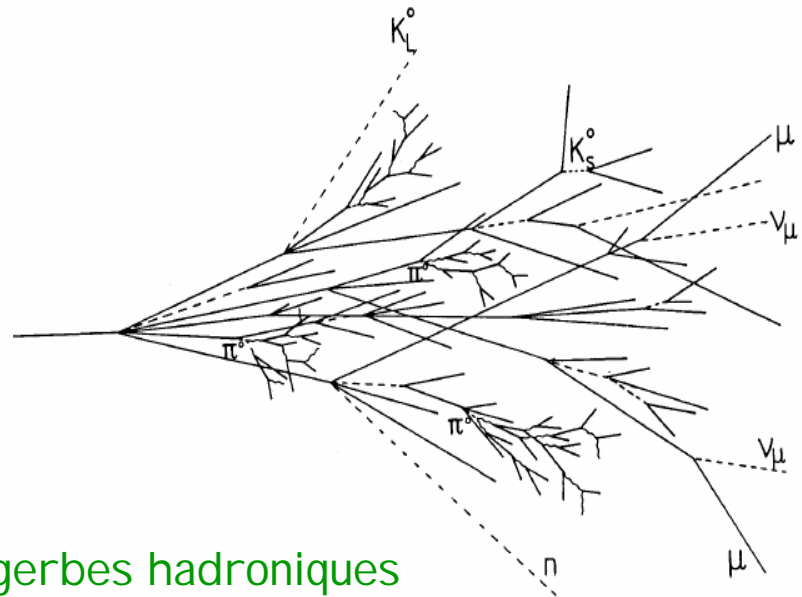
gerbes électromagnétiques

Deux phénomènes arrêtent γ , électrons et positrons à proximité de noyaux lourds :

- Rayonnement de freinage : $e \rightarrow e + \gamma$
- Production de paires : $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$

Le mécanisme des gerbes hadroniques

- Les hadrons génèrent aussi des gerbes en traversant des matériaux lourds.
- le mécanisme est plus complexe que celui des gerbes électromagnétiques. Les hadrons ne sont pas ou peu sujets au rayonnement de freinage, mais ils interagissent fortement avec des noyaux. Lors de ces interactions des π^0 , puis des γ sont aussi produits qui génèrent des sous-gerbes électromagnétiques.



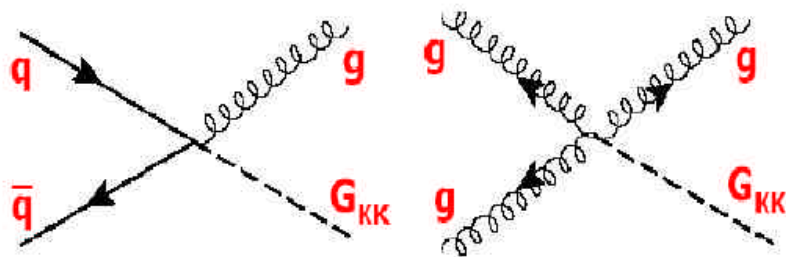
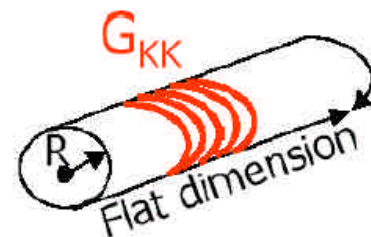
gerbes hadroniques



Large Extra Dimensions

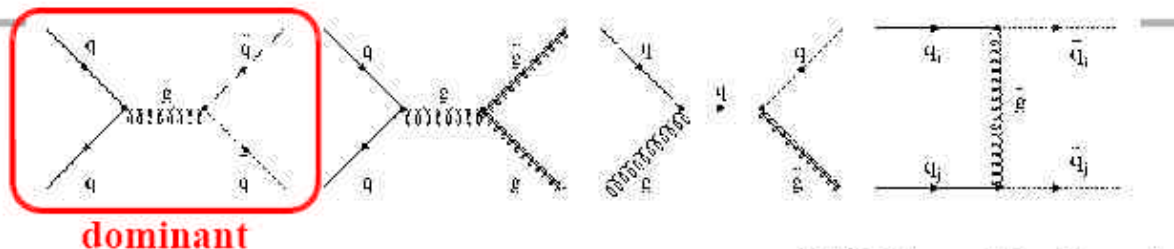
- Theories of large extra dimensions have been proposed as a possible solution of the hierarchy problem
- In a large class of models: series of graviton (G) states called “Kaluza Klein tower”
- Two parameters :
 - The fundamental Planck mass M_D
 - n =number of extra dimensions
- At the Tevatron:

- gravitons can be produced recoiling against a quark or a gluon
- Gravitons escape in the bulk and create MET
- small gravitational coupling is compensated by the large number of kinematically accessible states

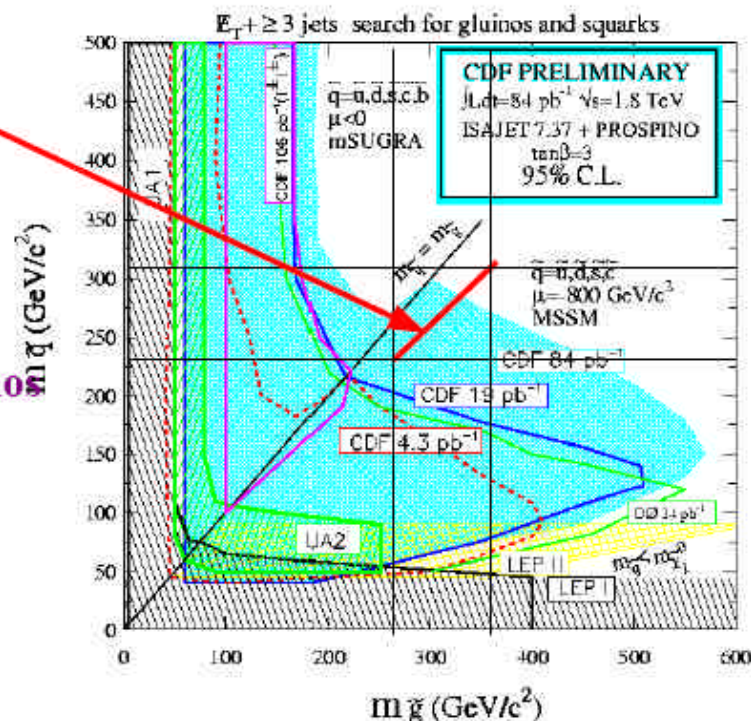




SUSY: Squarks & Gluinos



- **mSUGRA model :**
 - $m_0 = 25, \tan(\beta)=3, A_0 = 0, \mu < 0$
 - $m_{1/2} = [100-140]$
- **R-parity is conserved : Lightest neutralino is the LSP**
- **Squarks are always lighter than gluinos**
- **Only 1st and 2nd squark generations**
- **sq-sqbar production is dominant**
- **All cascade decay implemented**
- **Analysis is optimized to search for acoplanar dijet event**



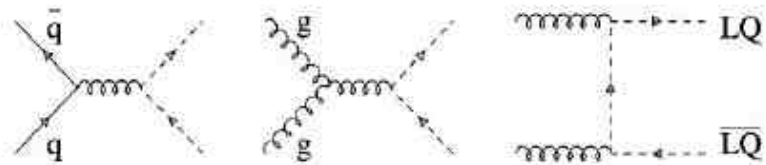


Leptoquarks

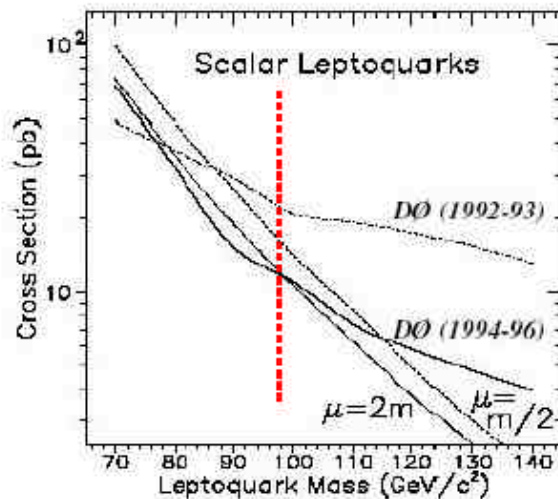
- Leptoquarks: connect the lepton and quark sectors
- At the Tevatron, leptoquarks are pair-produced

$$q + \bar{q} \rightarrow LQ + \bar{L}\bar{Q},$$

$$g + g \rightarrow LQ + \bar{L}\bar{Q}.$$



- Scalar leptoquarks are considered with $\text{BR}(LQ \rightarrow q\nu) = 100\%$
- acoplanar dijet topology



- DØ RUN I result: 85.2 pb^{-1}
- No excess observed
- 95% CL limit on the LQ mass:
 - $98 \text{ GeV}/c^2$

Erreur relative d'échelle d'énergie des jets entre données réelles et simulées

d'échelle d'énergie des jets entre données réelles difference
et simulées

$$\mathbf{S}_{err} = \sqrt{\mathbf{S}_{data}^2 + \mathbf{S}_{MC}^2}$$

différence relative

Erreur relative d'échelle d'énergie des jets entre données réelles et simulées

$$\Delta S = \frac{p_T^{jet} - p_T^g}{p_T^g}$$

